

CS-47

大規模地下空洞の利用と掘削施工における計測管理

大林組技術研究所

丹生屋純夫

丸山 誠

鈴木健一郎

1. 概要

揚水式地下発電所や石油、ガスなどのエネルギー地下備蓄タンクなど、地下構造物の大規模化や用途の多様化が進むと、地質条件の必ずしも良くないところや地下深いところでの工事が不可欠となり、その設計・施工は地質条件に大きく左右される。事前の地質調査の限界を考慮すれば、掘削に伴い地山の挙動を的確に捉え、これに基づき設計の見直しを行っていくフィードバック機構を取り入れた考え方とその確立が必要となる。すなわち、情報化施工の重要性が一層高まると予想される。

このように、大規模地下空洞における設計・施工を考える際、情報化施工という観点から現状の技術を取りまとめ分析することは、将来の技術の発展に重要な足掛かりを与えられと考えられる。この報告は、既設の大規模地下空洞の施工事例より、その空洞規模と施工中の計測管理について整理し、現状の計測方法の特徴をまとめ、見直しを行ったものである。

2. 大規模地下空洞の利用事例

大規模地下空洞として最も施工実績の多いのが地下発電所工事である。現在、地下発電所は全国に約40地点が稼働中で、その内訳は一般水力発電と揚水式発電がほぼ半数を占めている¹⁾。その他の利用として、地下岩盤タンクがある¹⁾。これは、石油や液化天然ガスを貯蔵し、岩盤内の地下水圧を持って液体を封じ込める、いわゆる水封式の備蓄貯蔵構造物である。この施設に要求される最大の機能は、所定の備蓄量を安全かつ経済的に確保することである。したがって、メンテナンスを不要とすることを目的として、支保に依存することなく地下空洞の力学的安定を確保する設計が要求される。

空洞断面の形状には、図-1に示すように、「きのこ型」、「たまご型（馬蹄型、楕円型）」、及び「弾頭型（幌型、かまぼこ型）」の3種類に分類される。

・きのこ型は、大規模な地下発電所に最も

多く採用されており、その安全性が十分立証されている形状である。

・たまご型は、FEM解析の発展により地下空洞に作用する応力が解明されたことと、NATM工法等の施工技術の進歩により採用された形式である。

・弾頭型は、前述のきのこ型とたまご型の長所をそれぞれ取り入れた構造で、比較的施工例が多い。

最近の一般的な傾向として、地下空洞の規模は必要な変電容量を確保するために、タービンや発電機が大型化しており、空洞の断面積も1,000～2,000 m²とかなり大きくなっている。なお、既存の石油地下備蓄施設では、たまご型と変形弾頭型が採用されている。

3. 情報化施工における計測管理

情報化施工における計測管理の計画に際しては、空洞規模や地質状況に応じて計測項目を定め、計測位置および数量を選定する必要があり、設計・施工計画との関連が大きい。計測項目を選定する場合、基本的に次のような事項を考慮する必要がある²⁾。

①計測機器が安価で丈夫である。②設置・計測・解析方法が簡便である。③計測精度が高くデータの品質が一致する。④計測範囲が比較的広い。

今回筆者らは、既設の地下発電所主空洞に関する文献から計測に関するデータを収集した。主な既設地下空洞施工事例の計測項目についてまとめたのが表-1である。各種の計測管理が行われている中で、次の4項目がほとんどの地下空洞の施工において実施されていることが分かる。

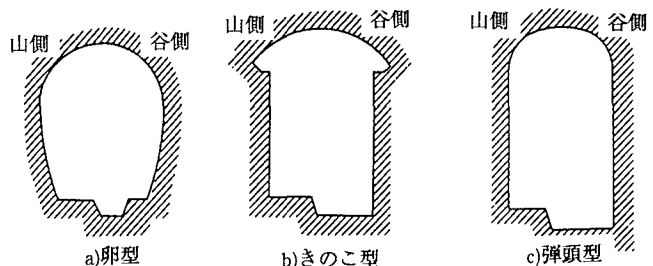


図-1 既設の大規模地下空洞における断面形状

表-1 既設の大規模地下空洞における計測項目

地下空洞	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
計測項目																						
岩盤変位	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
内空相対変位	○	○	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
内空絶対変位			○			○				○					○							
P S 工荷重測定					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
アーチコンクリート応力測定	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
岩盤内応力測定										○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
断層変位										○												
弾性波速度測定						○	○			○					○						○	○
亀裂状況の変化測定						○	○			○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○
湧水圧・湧水量測定	○		○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
間隙水圧測定			○			○	○		○		○								○	○	○	○

表-2 計測管理基準の一例

		データの 求め方	レベル1	レベル2	レベル3	管理 頻度
			解析結果より 予想される 最大値	レベル1と3 の中間	PS工または 岩盤の破壊 につながる値	
管 理 項 目	地中変位 (mm)	変位計設置後の壁 面より10m区間の 相対変位	(管理値) FEM解析結 果の最大値	(管理値) PS工軸力 より逆算	(管理値) PS工軸力 より逆算	毎日
	内空変位 (mm)	コンパニメント や光波測距儀に よる測定	(管理値) 地中変位×2	(管理値) 地中変位×2	(管理値) 地中変位×2	毎日
	PS工 軸力 (t/本)	PS工ロードセル による測定	(管理値) 地中変位 より逆算	(管理値) PS工 降伏強度	(管理値) PS工 引張強度	毎日
	変位速度 (mm/日)	地中変位より算 出、ただし発破に よる変位は除く	(管理値) 既設発電所 工事の実績	(管理値) 既設発電所 工事の実績	(管理値) 既設発電所 工事の実績	毎日
	不安定 領域の 範囲 (m)	計測値を用いた 逆解析により最 終段階の塑性域 を算出	(管理値) FEM解析結 果の最大値	(管理値) 補強対象 領域	(管理値) 定着長を侵さ ない範囲	掘削の ステップ毎
	掘削 計測 追加補強	レベル2を越えると掘削一時停止。 レベル1を越えると計測頻度増加。レベル2、3を越えたとさらに増加。 レベル2を越えたと追加補強実施。レベル3を越えたと抜本的な対策の実施。				

(1) 周辺岩盤の変位計測 (2) アーチコンクリートの応力計測 (3) 内空相対変位計測 (4) P S 工の張力計測
これらは、前述の①～④の選定条件に照らし合わせた結果である³⁾と思われる。

実際の計測管理の運用では、計測項目によって異なり、いろいろな考え方があ。一般には管理限界値を最終許容限度として推定し、そこに達するまでを3段階程度の管理レベルに区分して、それぞれ管理基準値を設定、管理するケースが多い。管理基準の定義として次の3段階がよく用いられている⁴⁾。

レベル1：空洞形状の変形には至らないが、部分的に支保を増強したり、計測頻度を増やして計測管理を強化する。

レベル2：空洞形状の変形には至らないと予測されるが、その可能性があり支保の設計を見直す必要がある。

レベル3：空洞形状に部分的あるいは全体的な変形が生じ、施工を続行することのできない段階で、大規模な設計・施工の修正が必要である。なお、一般的な計測管理項目と基準の一例とその考え方を表-2に示す。

4. 情報化施工の問題点と今後

情報化施工の目的は、掘削施工段階毎に空洞安定の評価を行い、安全で経済的な施工を行うことにあ。そのために重要な点を挙げると次のようになる。

・経済性を重視し、計測計画は空洞全体と局所的な計測を合理的に配置して立案すべきである。そのために、事前の地質・岩盤調査や予測解析が鍵となる。

・吹付けコンクリートの応力測定など、わずかな埋設のズレによって、正確なデータの得られなくなる場合は、補助的な計測項目を追加しておく。

・掘削前方の地山状況をいかに早く的確に把握し、掘削空洞周辺岩盤の挙動を確実に予測できるかが鍵となる。つまり、計測管理体制のシステム化が要求される。現場事務所に留まらず、計測データをリアルタイムに送受信できる体制を考えるべきである。

現在までに施工された地下空洞の計測計画では、特別な事情のない限り空洞規模により計測数量が決まるといえる。しかし、今後のより複雑な地質構造を持つ岩盤中の計

測管理を考えると、施工中に得られる岩盤挙動と地質状況に関する情報を的確に反映できるシステムの構築が要求される。情報化施工における計測管理システムが大規模地下空洞の施工合理化に欠くことのできないものに発展させる必要性がある。

(参考文献)

- 1) 菊地；地下空洞・地下水への適用、地質工学セミナー、pp.397～436,1994.5
- 2) 土木学会；トンネルの地質調査と岩盤計測、1985.2
- 3) 吉中、桜井、菊池；岩盤分類とその適用、土木工学社、平成元年7月
- 4) 三浦；大規模地下空洞の計測管理について、第1回岩盤力学委員会研究報告会資料、土木学会、平成6年10月
- 5) 片山、矢田、平川；大河内水力発電所地下発電所空洞掘削時の情報化施工、電力土木、No.237,1992.3